

Immersed Boundary 法による MR 流体に関する多粒子系直接数値シミュレーション Direct numerical simulation on many-particle system in magnetorheological fluid by Immersed Boundary method

日大生産工¹, PIA², 東大環安セ³, 物材機構⁴

○(M1) 田中 亜宗¹, 安藤 努¹, 小池 修², 辰巳 怜³, 廣田 憲之⁴

Nihon Univ.¹, PIA², Univ Tokyo³, NIMS⁴

○Aso Tanaka¹, Tsutomu Ando¹, Osamu Koike², Rei Tatsumi³, Noriyuki Hirota⁴

E-mail: cias19012@g.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

磁気粘性流体 (以下 MR 流体) は, 磁場の影響を受けることで含有磁性粒子がチェーン状の構造体を形成して溶液自体の見かけ粘度が変化することが知られ, この見かけ粘度の変化を利用してロボット等の関節部や各種衝撃吸収系への応用が期待されている¹⁾. しかし, 使用が想定されている箇所ではせん断流れを考慮する必要がある. また, 含有磁性粒子は微小であるため挙動を観察するのは難しいことから, せん断速度と磁場強度をパラメータとした数値実験が行われている²⁾.

MR 流体中の粒子が形成するチェーン構造と見かけ粘度について, せん断流れ場の大きさによる影響を数値計算を用いて比較した.

2. 数値実験条件

溶媒(分散媒)を Newton 流体として扱い, 連続の式および揺動 Navier-Stokes 方程式に従う. 粒子の並進は, Newton の運動方程式に, 回転は Euler の運動方程式に従う. この際, 磁気相互作用も考慮する³⁾. そして, Immersed boundary 法で粒子-流体運動を連成させる. また, 上下壁面に垂直な左右両面に周期境界条件を使用した.

本数値実験では, ニッケル粒子を含有する MR 流体を想定した. 粒子および溶媒の物性値を Table 1 に示す.

計算領域は Fig. 1 に示すように粒子直径 $d = 2.5 \mu\text{m}$ を基準に $(x, y, z) = (30d, 10d, 3d)$ の流路として, 領域の上壁を一定速度 u_{wall} で x 軸正方向に移動させることでクエット流れを発生させ, 上下壁面の垂直方向にニッケルが飽和磁化となる $B = 0.6 \text{ [T]}$ の一様な磁場を印加した.

Table 1 Physical value in this simulation

Particle		Solvent	
Density [kg/m^3]	8.90×10^3	Density [kg/m^3]	8.26×10^2
Young's modulus [Pa]	2.00×10^{11}	Viscosity [Pa·s]	2.5×10^{-2}
Poisson ratio [-]	0.34	Temperature [K]	293.15
Magnetic sus. [A/m]	4.90×10^5	Particle volume concentration [vol %]	20

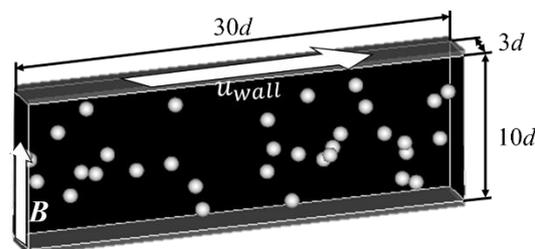


Fig. 1 Computation domain

3. 数値実験結果

本数値実験では, 含有磁性粒子に作用する磁気力に対する流体抵抗の比で表される Mason 数 MN とせん断率 $\dot{\gamma} \text{ [s}^{-1}\text{]}$ と時間 $t \text{ [s]}$ の積で表現される上壁面で印加したひずみ $\dot{\gamma} t$ の二つの無次元化量を用いて結果を整理した. Fig. 2 に $MN = 0.1$ における定常時の粒子構造体の様子を示す. 形成された構造体は上壁の移動によるクエット流れの影響を受けて傾斜をしており, 下壁部ではクエット流れの影響を受けにくいため停滞して塊となっている箇所が見られた.

発表では, 構造体の形状と見かけ粘度との相関について議論する.

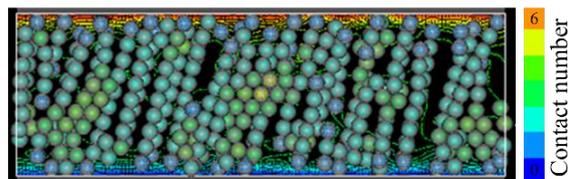


Fig. 2 Appearance of structure on $MN = 0.1$

参考文献

- 1) 菊池武士: MR 流体のロボティクス・メカトロニクスへの応用方法: 日本ロボット学会誌, 31, 5 (2013) pp.469-472.
- 2) 渡邊孝宏, 酒井幹夫: DEM-DNS 法を用いた磁気粘性流体シミュレーション, 粉体工学学会誌, 55 (2018) pp.426-432.
- 3) T. Ando, D. Katayama, N. Hirota, O. Koike, R. Tatsumi, M. Yamato: Structure Formation of Magnetic Particles under Magnetic Fields toward Anisotropic Materials, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 424 (2018) 012076.